

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-133593

(P 2 0 0 0 - 1 3 3 5 9 3 A)

(43) 公開日 平成12年5月12日 (2000.5.12)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード (参考)
H01L 21/20		H01L 21/20	5F052
21/268		21/268	F
			J

審査請求 有 請求項の数13 O L (全9頁)

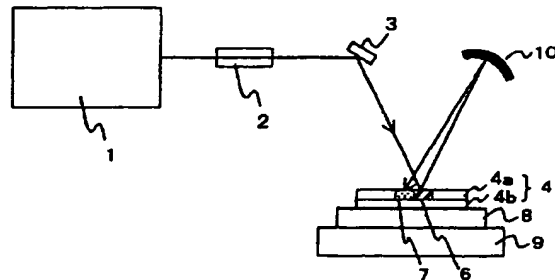
(21) 出願番号	特願平10-307198	(71) 出願人	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(22) 出願日	平成10年10月28日 (1998.10.28)	(72) 発明者	十文字 正之 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
		(74) 代理人	100100893 弁理士 渡辺 勝 (外3名)
		Fターム(参考)	5F052 AA02 BA02 BA07 BA18 BB07 CA04 CA10 DA01 DA02 DB02 HA01 JA01

(54) 【発明の名称】 レーザ照射装置およびレーザ照射方法

(57) 【要約】

【課題】 レーザアニールにより多結晶半導体膜を形成する際、レーザ照射装置の小型化を図りつつレーザ光のエネルギーの利用効率を高め、さらに、多結晶組織の膜質の向上を図ること。

【解決手段】 アモルファスシリコン膜4aに対してレーザ光を斜めの方向から直接照射するとともに、反射した光を凹面ミラー10により集光して間接照射する。直接照射領域6は、間接照射領域7の前方または後方に位置するようにする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光を半導体薄膜に照射するレーザ照射装置において、レーザ光を発生するレーザ光発生手段と、該レーザ光を半導体膜に対して斜めの方向から直接照射するように照射角度を調整する光学系と、直接照射したレーザ光が半導体膜で反射した光を集光し、再び半導体膜に導いて間接照射せしめる集光手段とを備えたことを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項2】 前記レーザ光を一方向に沿って走査するレーザ光走査手段をさらに備えたことを特徴とする請求項1に記載のレーザ照射装置。

【請求項3】 直接照射による照射領域が、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の後方に位置することを特徴とする請求項2に記載のレーザ照射装置。

【請求項4】 直接照射による照射領域が、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の前方に位置することを特徴とする請求項2に記載のレーザ照射装置。

【請求項5】 間接照射による照射エネルギー密度が直接照射による照射エネルギー密度の10～100%となるように、前記集光手段の集光度が調整されたことを特徴とする請求項2乃至4いずれかに記載のレーザ照射装置。

【請求項6】 レーザ光を半導体薄膜に照射するレーザ照射方法において、該半導体膜に対してレーザ光を斜めの方向から照射する直接照射と、直接照射したレーザ光が半導体膜で反射した光を集光し再び半導体膜に導いて照射する間接照射とを行うことを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項7】 前記レーザ光を一方向に沿って走査しながら半導体薄膜に照射することを特徴とする請求項6に記載のレーザ照射方法。

【請求項8】 直接照射による照射領域が、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の後方に位置することを特徴とする請求項7に記載のレーザ照射方法。

【請求項9】 前記半導体膜の一地点に対し、間接照射により熔融させた後、冷却して固化させ、その後、直接照射を行うことを特徴とする請求項8に記載のレーザ照射方法。

【請求項10】 間接照射による照射エネルギー密度が直接照射による照射エネルギー密度の10～100%となるように、前記集光手段の集光度が調整されたことを特徴とする請求項8または9に記載のレーザ照射方法。

【請求項11】 直接照射による照射領域が、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の前方に位置することを特徴とする請求項6に記載のレーザ照射方法。

【請求項12】 前記半導体膜の一地点に対し、直接照

射により熔融させた後、熔融状態を維持している間に間接照射を行うことを特徴とする請求項11に記載のレーザ照射方法。

【請求項13】 間接照射による照射エネルギー密度が直接照射による照射エネルギー密度の10～100%となるように、集光手段の集光度が調整されたことを特徴とする請求項11または12に記載のレーザ照射方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、非単結晶半導体薄膜にレーザ光を照射し、レーザアニールにより、多結晶半導体膜を形成するレーザ照射装置およびレーザ照射方法に関し、特に液晶ディスプレイや密着型イメージセンサ等に用いられる多結晶シリコン薄膜トランジスタのチャネル層を形成するレーザ照射装置およびレーザ照射方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 現在、液晶表示装置や密着型イメージセンサ等への応用を目的とした、ガラス基板上に形成される多結晶シリコン薄膜をチャネル層とする薄膜トランジスタの開発が盛んに進められている。多結晶シリコン薄膜の作製方法としては、プロセス温度低温化、スループット向上などの観点から、前駆体として一旦成膜したシリコン薄膜に、紫外レーザ光を照射することにより熔融を経た結晶化を引き起こして多結晶組織を形成する、レーザアニール法が主流となりつつある。

【0003】 このレーザアニール法において、多結晶組織を均一に形成すること、すなわち多結晶粒子の粒径を均一にすることが重要な課題の一つとなっている。このための手法として、エネルギー値の異なる2種類のエネルギー照射を行うことが有効であり、従来、種々のレーザアニール方法が提案されてきた。

【0004】 たとえば、まず比較的低エネルギーの照射を行った後、次の工程で、これよりも高いエネルギーの照射を行うという方法がある。また、同一波長のレーザ光を発する2台のバルスレーザを用い、まず比較的低エネルギーのレーザを用いて照射を行い、つづいて同一の地点にこれよりも高いエネルギーのレーザを用いて照射を行う、いわゆる2ステップ・アニール法とよばれる方法がある。

【0005】 しかし、これらの方法では、照射作業を2度行う必要があり作業効率が悪かった。このためレーザ処理に要する時間が長くなるという問題があった。また、2種類のエネルギーのレーザ照射を行うために、2台のレーザを設置するかレーザ光のエネルギーを所望の大きさに下げるエネルギー変換器等を設置する必要が生じ、照射装置が大がかりになって広い設置場所が必要となるという問題があった。

【0006】 特開平6-61172号公報には、このような問題を解決するためのレーザアニール装置が開示さ

れている。同公報に開示されているレーザアニール装置の構造を図8に示す。図中のレーザアニール装置において、ホモジナイザ17から出力されたレーザ光の一部はビームスプリッタ18によって分岐される。分岐された光は反射鏡19によって光路変更され、さらに、調節レンズ20によってビームの広がり等が調整された後にフィルタ21によって所望のエネルギー密度の副ビームE1となる。したがって、ビームの移動方向に対してエネルギー密度の異なる主ビームE2と副ビームE1とが平行して出力され、絶縁基板12上のアモルファスシリコン13に照射されることとなる。この装置によれば、簡易な構造でエネルギーの異なるレーザ光を一度の照射作業で照射できるとされている。

【0007】一方、照射領域中のレーザ光エネルギープロファイルを特定の形状とすることにより、同一地点に2種類のエネルギーのレーザ照射がなされるようにする技術も提案されている。この方法について図9を参照して説明する。図9(a)は、照射に用いたパルスレーザ光のエネルギー密度プロファイルを示す図である。この図は、矩形の照射領域の短辺方向(レーザ走査方向と垂直の方向)のエネルギー分布を示すものであり、トップフラット型の形状を有している。両端に傾斜部を有するエネルギー密度プロファイルであるため、このパルスレーザ光をスキャン照射すれば、ピッチ(レーザ光の走査幅)を適宜に調整することにより、同一地点に2種類のエネルギーのレーザ照射がなされることとなる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし上記従来技術はいずれも、レーザ光のエネルギーの利用効率が低いという問題を有していた。半導体膜に照射された光はすべて相転移等に消費されるのではなく、その半分以上が反射する。たとえば、XeClエキシマレーザ(波長308nm)では約53%、KrFエキシマレーザ(波長248nm)では約54%の光が固体のアモルファスシリコン膜の表面で反射する。さらに、アモルファスシリコン膜が熔融状態となった場合、反射率は一層高くなり、XeClエキシマレーザでは約73%、KrFエキシマレーザでは約75%の反射率となる。従来技術においては、この反射光がレーザアニールのために利用されることはなかった。このため、レーザアニールを行うために本来必要とする以上のエネルギーの照射を行う必要があり、レーザ光源の寿命が短くなり運用コストが上がるという問題があった。さらに、必要以上に高いエネルギー照射を行っていたため、レーザの周波数を十分に上げることができず、処理速度を上げることにについて一定の制約があった。

【0009】また特開平6-61172号公報記載の技術は、副ビームのエネルギー密度を、フィルタを透過させることによって調整しているため、レーザ光のエネルギーの利用効率が更に下がるという問題があった。また

光学部品点数が多いため、そのコストが上がるという問題があり、さらに、正副ビームが表面で反射し、フィルタやミラーなどの光学部品に損傷を与えるという問題があった。

【0010】また、信学技報SDM92-112巻(1992年)、53頁記載の技術には、パルスレーザ光のエネルギー密度プロファイルが両端に傾斜部を有することに起因して、上述したものと別個の問題を有していた。このパルスレーザ光をスキャン照射した場合の結晶粒径の変化を図9(b)~(d)に示す。まず、アモルファスシリコン薄膜に図9(a)に示すプロファイルを有するパルスレーザ光を照射すると、図9(b)に示す結晶粒径分布の多結晶領域が形成される。次にビームをピッチxだけ矢印方向に移動してパルスレーザ光を照射すると、結晶粒径分布は図9(c)に示すように変化する。ここで、図9(b)におけるビーム端近傍の領域で粒径の極小値が見られる。最終的には、照射開始箇所と照射終了箇所を除き、図9(d)に示す結晶粒径分布を有する多結晶シリコン薄膜が形成される。すなわちビーム端による組織変化に起因する結晶粒径の不均一が発生する。この現象は、レーザ照射による薄膜の熔融状態が、照射前の薄膜組織に依存することに起因するものである。特に、前駆体としてアモルファスシリコン薄膜を用いた場合、既照射領域(結晶領域)と未照射領域(アモルファス領域)との界面で、顕著な熔融状態の変化が発生する。

【0011】以上述べた問題点にくわえ、上記従来技術はいずれも、粒径分布が均一で、かつ粒子の配列状態が良好な大粒径多結晶シリコン膜を形成することに関し、十分な効果が得られないことがあり、この点についてもさらなる改良が求められていた。

【0012】本発明は、上述の点に鑑み、以下の課題を解決することを目的とする。

【0013】第一の課題は、レーザ光のエネルギーの利用効率を高め、これによりレーザ光源の寿命を向上して運用コストを下げ、さらにアニール処理速度を向上させることである。

【0014】第二の課題は、光学系をシンプルな構造とし、装置の小型化を図り省スペース化を図ることである。

【0015】第三の課題は、多結晶組織の膜質の向上、すなわち、多結晶粒子の粒径の均一化、多結晶粒子の大粒径化、多結晶粒子の配列状態の秩序化等を図ることである。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、レーザ光を半導体薄膜に照射するレーザ照射装置において、レーザ光を発生するレーザ光発生手段と、該レーザ光を半導体膜に対して斜めの方向から直接照射するように照射角度を調整する光学系と、直接照射したレーザ光が半導

体膜で反射した光を集光し、再び半導体膜に導いて間接照射せしめる集光手段とを備えたことを特徴とするレーザー照射装置が提供される。

【0017】また本発明によれば、レーザー光を半導体薄膜に照射するレーザー照射方法において、該半導体膜に対してレーザー光を斜めの方向から照射する直接照射と、直接照射したレーザー光が半導体膜で反射した光を集光し再び半導体膜に導いて照射する間接照射とを行うことを特徴とするレーザー照射方法が提供される。

【0018】本発明においては、半導体膜に対してレーザー光を斜めの方向から直接照射するとともに、反射した光を集光し再び半導体膜に導いて間接照射する。従来は、レーザー光を半導体膜に対して直角の方向から直接照射していた。このようにすれば単位面積当たりのレーザー光のエネルギー密度を最大となるからである。これに対して本発明は、直接照射の照射角度を直角方向からずらし、半導体膜に対し、たとえば70〜87度の角度から照射している。これにより、反射光を集光し再び半導体膜に導いて間接照射することが可能となり、従来検討されていなかった反射光の有効利用が図られ、レーザー光のエネルギーの利用効率を高めることができる。

【0019】本発明においては、半導体膜で反射した光の全光量に対する集光された光の光量の割合を集光度と定義する。本発明によれば、集光手段の集光度を調整することにより間接照射のエネルギーを容易に制御できるため、所望のエネルギー密度を有する2種類のレーザー光を同時に半導体膜に照射することが可能となる。通常、エネルギー密度の異なる2種類のレーザー光を照射するには、装置が大がかりになったり処理時間が長くなる等の問題があったが、本発明によればこれらの問題が解決される。

【0020】本発明における集光手段としては、凹面ミラー等の簡易な構造のものをを用いることができ、設置位置の調整等により集光度を容易に調整できる。たとえば特開平6-61172号公報記載の技術は、副ビームのエネルギー密度をフィルタを透過させることによって調整しているため、レーザー光のエネルギー利用効率が低下するという問題があった。また、フィルターの物性によりエネルギー密度を調整しているため、いったんフィルターを設置してしまえば副ビームのエネルギー密度を自由に定めることや微調整することが困難であった。これに対し、本発明では凹面ミラー等の簡易な構造の集光手段を用いているため、その取り付け位置を調整することにより、簡単な操作で集光度を連続的に変えることができ、間接照射のエネルギー密度を容易に調整できる。さらに、間接照射のエネルギー密度や照射面積を広範囲に調整することができるので、被処理材料に応じた多様なレーザーアニール処理が可能となる。

【0021】さらに、直接照射による照射領域と間接照射による照射領域との位置関係を適宜に調整すれば、半

導体膜の同一箇所にエネルギー密度の異なる2種類のレーザー照射が行われることとなり、多結晶粒子の粒径の均一化、あるいは、多結晶粒子の大粒径化や多結晶粒子の配列状態の秩序化といった多結晶組織の膜質の向上を図ることができる。ここで、本発明では凹面ミラー等の取り付け角度を調整することにより直接照射および間接照射の照射領域の位置関係を適宜に調整することができるので、一台のレーザー照射装置で多目的なレーザーアニール処理を行うことが可能となる。

【0022】

【発明の実施の形態】本発明におけるレーザー光とは、KrF、XeCl等のエキシマレーザーの他、ルビーレーザーのような他のパルスレーザー、アルゴンレーザーのようなCW (Continuous Wave) レーザーを含む。レーザー光のエネルギー密度は、多結晶半導体薄膜を形成し得る程度の大きさとする。

【0023】本発明の半導体薄膜とは、アモルファスシリコン膜や多結晶シリコン膜の他、SiGe等の膜を含む。

【0024】本発明においては、レーザー光を半導体膜に対して斜めの方向から直接照射するとともに、直接照射したレーザー光が半導体膜で反射した光を集光し、再び半導体膜に導いて間接照射する。直接照射とは半導体膜に直接に照射することをいい、間接照射とは半導体膜に反射した光を集光手段等により再度半導体膜に導き、照射することをいう。直接照射は半導体膜に対して斜めの方向から照射されるが、その照射角度は、半導体膜を含む平面に対して、好ましくは60〜87度、さらに好ましくは70〜85度とする。角度を小さくしすぎると照射領域中の単位面積当たりのエネルギー強度が低下し、また好ましくないエネルギー分布が生じることがある。角度を大きくしすぎると、直接照射のための光学系と、間接照射を行うための集光手段等とを好適に配置することが困難になる場合がある。

【0025】間接照射は、集光手段等により半導体膜で反射した光を集光し、この光を再び半導体膜に導くことにより行われる。集光手段とは、ミラー等が用いられ、特に凹面ミラーが好ましく用いられる。このような集光手段の集光度は、ミラーと半導体膜との間の距離や凹面ミラーの湾曲度等により制御することができる。また、凹面ミラーに透過率を持たせれば、その透過度の調整により制御可能となる。

【0026】本発明において、レーザー光を一方向に沿って走査することとしてもよい。レーザー光走査手段は、レーザー光の側を移動させる手段であってもよいし、被処理基板を移動させる手段であってもよい。これにより、半導体膜上の同一箇所に対し、エネルギー密度の異なる直接照射と間接照射の2度の照射を行うことが可能となり、多結晶粒子の粒径の均一化、多結晶粒子の大粒径化、多結晶粒子の配列状態の秩序化等の膜質の向上を図

ることが可能となる。

【0027】本発明において、直接照射による照射領域と間接照射による照射領域との位置関係を適宜に調整することにより、以下の効果がもたらされる。

【0028】直接照射による照射領域を、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の後方に位置させた場合、半導体膜の同一地点に対し、間接照射および直接照射がこの順で行われることとなる。すなわち、まず低エネルギーの間接照射により半導体膜が予備加熱されて固体から液体に変化し、その後の冷却に伴って、微細だが均一な多結晶シリコンとなる。この段階で、より高エネルギーの直接照射が行えば、欠陥の少ない、均一な粒径を有する多結晶組織が得られる。すなわち、このような効果を得るためには、半導体膜の一地点に対し、間接照射により溶融させた後、冷却して固化させ、その後、直接照射を行うようにすることが好ましい。これは、直接照射および間接照射の照射領域の位置関係の調整により実現できる。

【0029】直接照射による照射領域を、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の前方に位置させた場合、半導体膜の同一地点に対し、直接照射および間接照射がこの順で行われることとなる。すなわち、まず高エネルギーの直接照射により半導体膜が加熱されて溶融状態となった後、低エネルギーの間接照射が行われる。このため、溶融状態からの冷却が緩やかに進行し、これにより多結晶粒子の大粒径化を図ることができる。すなわち、多結晶粒子の大粒径化の目的を達成するためには、半導体膜の一地点に対し、直接照射により溶融させた後、溶融状態を維持している間に間接照射を行うことが好ましい。

【0030】本発明において、間接照射による照射エネルギー密度が直接照射による照射エネルギー密度の10～100%となるように、集光手段の集光度が調整されることが好ましい。これによりレーザ光エネルギーの利用効率を高めるとともに、上述のような多結晶組織の粒径の均一化、大粒径化等、種々の効果を得ることができる。ここで、多結晶組織の粒径の均一化、あるいは大粒径化を図るためには、集光度を以下のようにすることが好ましい。すなわち、間接照射による照射エネルギー密度は、直接照射による照射エネルギー密度の25～80%とすることが好ましく、30～50%とすることがさらに好ましく、35～42%とすることが最も好ましい。このようにすれば予備加熱のために適したエネルギーとなって、より一層、多結晶組織の粒径の均一化を図ることができる。また、直接照射後の冷却を緩やかに進行させるのに適したエネルギーとなって、より一層、多結晶組織の大粒径化を図ることができる。

【0031】

【実施例】（実施例1）本実施例で用いるレーザ照射装置の概略図を図1に示す。

【0032】被処理基板4は、絶縁基材4b上にアモルファスシリコン膜4aが形成された構造を有している。本実施例では、絶縁基材4bとして日本電気硝子社製のA-2基板（ガラス基板）を用いた。この絶縁基材4bの上に、まず、プラズマCVD法で二酸化シリコン薄膜を膜厚100nmとして堆積した後、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ を用い減圧CVD法でアモルファスシリコン膜4aを75nm堆積した。アモルファスシリコン膜4aの堆積条件は、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 流速150sccm、圧力8Pa、基板温度450℃とし、堆積時間は70分間とした。

【0033】被処理基板4は、ホルダー8上に配置され、このホルダー8は基板移動機構9によってx-y方向へ移動可能となっている。

【0034】本実施例では、エキシマレーザ1としてKrFエキシマレーザを用いた。このレーザ光は波長248nmのパルス光であり、パルス幅30ナノ秒、エネルギー密度400mJ/cm<sup>2</sup>である。基板温度は300℃とする。

【0035】エキシマレーザ1から生じたレーザ光は、ホモジナイザ2を通った後、ミラー3により光路を変え、アモルファスシリコン膜4aに照射される。この照射光は、ミラー3により、アモルファスシリコン膜4aを含む平面に対して80度の角度となるように光路調整されている。この照射による照射領域を直接照射領域6とする。この照射光は、半導体膜の表面で一部が吸収されて熱に変換され、残りは反射する。本実施例ではKrFエキシマレーザの波長248nmの光を用いているが、この場合、溶融状態となったアモルファスシリコン膜4a表面での反射率は75%程度であった。

【0036】この反射光を、本実施例では凹面ミラー10により集光する。凹面ミラー10に反射した光は再び半導体膜表面に到達する。この光により照射される領域を間接照射領域7と称す。凹面ミラー10による反射光の集光度は、被処理基板4から凹面ミラー10までの距離を調整することにより制御できる。本実施例では被処理基板4から凹面ミラー10までの距離を20cmとし、集光度を約50%とした。したがって、レーザ光のエネルギー利用率は、約71%であった。なお、反射光を利用しない従来の方法ではエネルギー利用率は46%となる。

【0037】本実施例において、直接照射領域6のエネルギー密度 $E_1$ は、400mJ/cm<sup>2</sup>程度である。一方、間接照射領域7のエネルギー密度 $E_2$ は、200mJ/cm<sup>2</sup>程度であり、直接照射領域6のエネルギー密度 $E_1$ の約50%となっている。

【0038】以下、この装置を用いたレーザ照射方法の例について図2、3を参照して説明する。図2は本実施例の方法の概略を示す図である。図3は直接照射と間接照射の位置関係、およびスキャン照射の様子を説明するための図である。図中、1回目および2回目の照射によ

る照射領域が示されている。照射領域は、実際にはレーザ走査方向と直角の方向に延びたライン状の形状を有しているが、便宜上、その矩形状の形状として表している。

【0039】本実施例では、基板を一方方向に移動することにより、レーザ照射領域を走査する。図3に示すように、基板の進行方向に対して間接照射領域7は直接照射領域6の前方に位置しており、アモルファスシリコン膜4aの同一地点に対し、間接照射および直接照射がこの順で行われることとなる。2つの照射領域は、照射面積が略等しくなっている。すなわち、2つの照射領域の幅（レーザ走査方向の幅）が略等しくなっている。さらに、走査ピッチをこれらの領域の幅と等しくしているため、1回目の照射における間接照射領域7が、ちょうど2回目の照射における直接照射領域6と重なるようになっている。このようにすることによって、実質的に半導体膜上のすべての領域に対して間接照射および直接照射の両方が行われることとなり、しかも照射プロセスの効率化を図ることができる。なお、2つの照射領域の幅が等しくない場合は、走査ピッチを短い方の幅に合わせることが好ましい。これにより実質的に半導体膜上のすべての領域に対して、間接照射および直接照射の両方が行われることとなる。

【0040】アモルファスシリコン膜4aの表面は、まず比較的低エネルギーの間接照射により予備加熱され、これにより固体から液体に変化し、その後の冷却に伴って多結晶シリコンとなる。このとき、多結晶粒子は照射領域の全面にわたって形成されるのではなく、一部の領域にのみ形成される。また、多結晶シリコンの粒界等において欠陥が多数生じる。つづいて、間接照射された領域が冷却し、固体となった段階で、直接照射が行われる。これにより、照射領域のほぼ全面にわたって多結晶粒子が成長し、しかも上述の欠陥が消滅する。以上の2種類の照射が順に行われるため、均一な粒径を有する多結晶組織が得られる。

【0041】本実施例においては、同一地点においての間接照射と直接照射との時間間隔が4ミリ秒となるように基板移動速度を調整した。本実施例で用いたレーザ光の場合、上記のように調整することにより、間接照射された領域に再び直接照射が行われることとなる。

【0042】本実施例の方法により作製した多結晶半導体膜を走査型電子顕微鏡で観察したところ、欠陥のない、粒径0.2μm程度の均一な多結晶半導体膜が形成されていることが確認された。また、表面平坦性も、従来の反射光を用いない場合と比較して向上した。

【0043】（実施例2）直接照射による照射領域と間接照射による照射領域との位置関係を図4のようにし、走査ピッチを変更したこと以外は実施例1と同様にしてレーザ照射を行った。本実施例では、走査ピッチを0.1mmとした。

【0044】図4において、間接照射領域7の幅、直接照射領域6の幅（いずれもレーザ走査方向の幅を指す）、およびこれらの領域の間隔をいずれも0.1mmとし、略等しくしている。このため、1回目の照射における間接照射領域7が、2回目の照射においては間接照射領域7と直接照射領域6の間の照射がされない領域と一致し、さらに3回目の照射において直接照射領域6と一致することとなる。すなわち、同一地点に対し、間接照射、非照射、直接照射がこの順で行われることとなる。間接照射と直接照射の間に非照射の段階が設けられているので、この段階で熔融シリコンを冷却させ、多結晶化するための時間を確保することができる。これにより、半導体膜の一地点に対し、間接照射により熔融させた後、冷却して固化させた上で直接照射を行うというプロセスを確実に行うことができる。

【0045】本実施例の方法により作製した多結晶半導体膜を走査型電子顕微鏡で観察したところ、粒径0.2μm程度の欠陥のない均一な多結晶半導体膜が形成されていることが確認された。

【0046】（実施例3）本実施例で用いるレーザ照射装置の概略図を図5に示す。この装置は実施例1と同様の構造を有しており、直接照射領域6と間接照射領域7の位置関係のみが異なっている。被処理基板4の作製方法は実施例1と同様である。

【0047】以下、この装置を用いたレーザ照射方法の例について図6、7を参照して説明する。図6は本実施例の方法の概略を示す図である。図7は直接照射と間接照射の位置関係、およびスキャン照射の様子を説明するための図である。図中、1回目および2回目の照射による照射領域が示されている。照射領域は、実際にはレーザ走査方向と直角の方向に延びたライン状の形状を有しているが、便宜上、その矩形状の形状として表している。

【0048】本実施例では、基板を一方方向に移動することにより、レーザ照射領域を走査する。図7に示すように、基板の進行方向に対して間接照射領域7は直接照射領域6の後方に位置しており、アモルファスシリコン膜4aの同一地点に対し、直接照射および間接照射がこの順で行われることとなる。2つの照射領域は、照射面積が略等しくなっている。すなわち、2つの照射領域の幅（レーザ走査方向の幅）が略等しくなっている。さらに、走査ピッチをこれらの領域の幅と等しくしているため、1回目の照射における間接照射領域7が、ちょうど2回目の照射における直接照射領域6と重なるようになっている。このようにすることによって、実質的に半導体膜上のすべての領域に対して直接照射および間接照射の両方が行われることとなり、しかも照射プロセスの効率化を図ることができる。なお、2つの照射領域の幅が等しくない場合は、走査ピッチを短い方の幅に合わせることが好ましい。これにより実質的に半導体膜上のすべ

での領域に対して、直接照射および間接照射の両方が行われることとなる。

【0049】アモルファスシリコン膜4aの表面は、まず比較的高エネルギーの直接照射により加熱され、これにより固体から液体に変化する。つづいて、液体の状態（熔融状態）である間に間接照射がされる。これにより液体状態のアモルファスシリコンの冷却が緩やかになり、結晶粒の大きさを増加させることができる。

【0050】本実施例の方法により作製した多結晶半導体膜を走査型電子顕微鏡で観察したところ、粒径1.5  $\mu\text{m}$ 程度の多結晶粒子が良好な秩序性をもって整然と配列していることが確認された。また、本実施例の方法によれば、レーザー光のエネルギー利用率は、約71%であった。一方、凹面ミラーによる集光を行わない従来の方法ではエネルギー利用率が46%であり、本実施例の方法の優位性が示された。また、基板温度を更に上昇させ400℃とした場合は、粒径2.5  $\mu\text{m}$ 程度となった。

【0051】本実施例では、図7のように直接照射領域6と間接照射領域7とが隣接した状態となっており、両者は重なり合わないようになっている。ここで、図10のように、直接照射領域6と間接照射領域7とが一部重なるようにすれば、多結晶粒子の粒径をより増大させることができる。

【0052】

【発明の効果】以上説明してように本発明によれば、半導体膜に対してレーザー光を斜めの方向から照射するとともに、反射した光を集光し再び半導体膜に導いて照射するため、レーザー光のエネルギーの利用効率を高めることができる。これによりレーザー光源の寿命を向上させて運用コストを下げ、さらにアニール処理速度を向上させることができる。

【0053】本発明のレーザー照射装置は、異なるエネルギー密度のレーザー照射を行うために、レーザーを複数設置したり、エネルギー変換器等を設置する必要がなく、装置の小型化を図り省スペース化を図ることができる。

【0054】さらに、本発明において、直接照射による照射領域と間接照射による照射領域との位置関係を適宜に調整することにより、多結晶組織の膜質の向上、すなわち、多結晶粒子の粒径の均一化、多結晶粒子の大粒径化、多結晶粒子の配列状態の秩序化等を図ることができ

る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るレーザー照射装置の概略図である。

【図2】本発明に係るレーザー照射方法を説明するための図である。

【図3】本発明に係るレーザー照射方法を説明するための図である。

【図4】本発明に係るレーザー照射方法を説明するための図である。

【図5】本発明に係るレーザー照射装置の概略図である。

【図6】本発明に係るレーザー照射方法を説明するための図である。

【図7】本発明に係るレーザー照射方法を説明するための図である。

【図8】従来のレーザー照射装置の一例を示す図である。

【図9】従来のレーザー照射方法の一例を示す図である。

【図10】本発明に係るレーザー照射方法を説明するための図である。

【符号の説明】

1 エキシマレーザー

2 ホモジナイザ

3 ミラー

4 被処理基板

4a アモルファスシリコン膜

4b 絶縁基材

6 直接照射領域

7 間接照射領域

8 ホルダー

9 基板移動機構

10 凹面ミラー

12 絶縁基板

13 アモルファスシリコン

17 ホモジナイザ

18 ビームスプリッタ

19 反射鏡

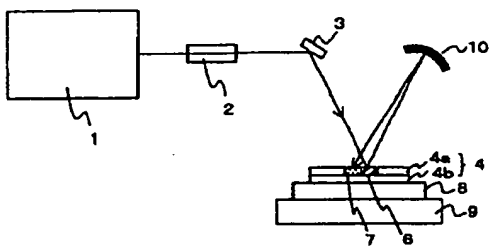
20 調節レンズ

21 フィルタ

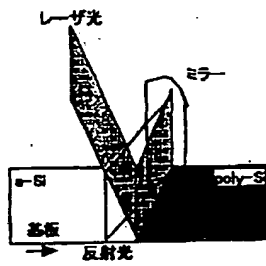
E1 副ビーム

E2 主ビーム

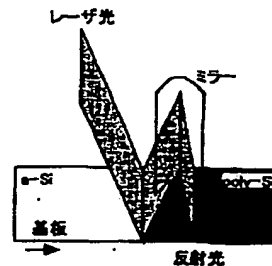
【図1】



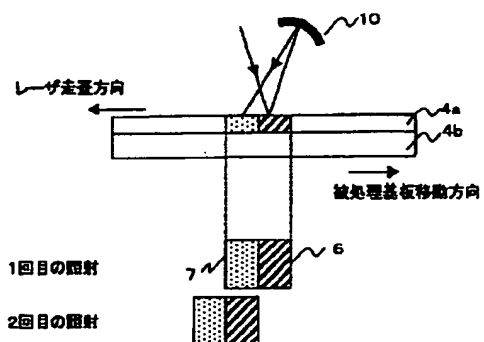
【図2】



【図6】

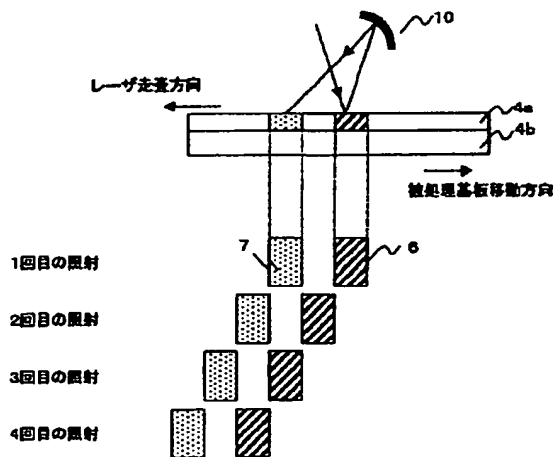


【図3】



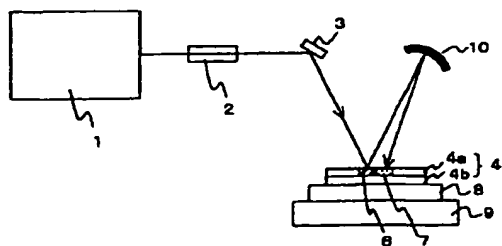
4a 半導体膜  
4b 絶縁基材  
6 直接照射領域  
7 間接照射領域  
10 凹面ミラー

【図4】

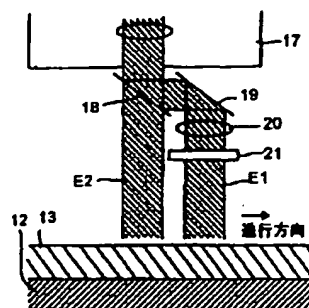


4a 半導体膜  
4b 絶縁基材  
6 直接照射領域  
7 間接照射領域  
10 凹面ミラー

【図5】

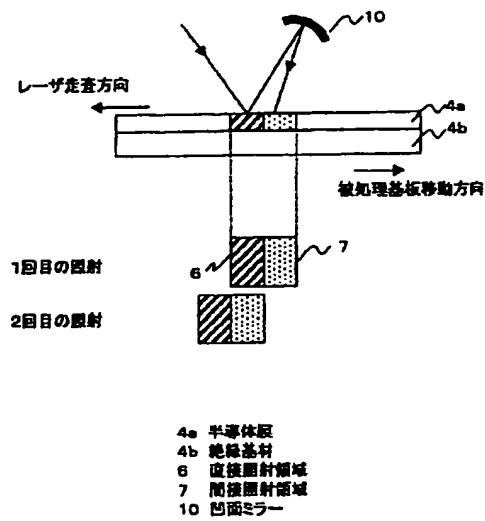


【図8】

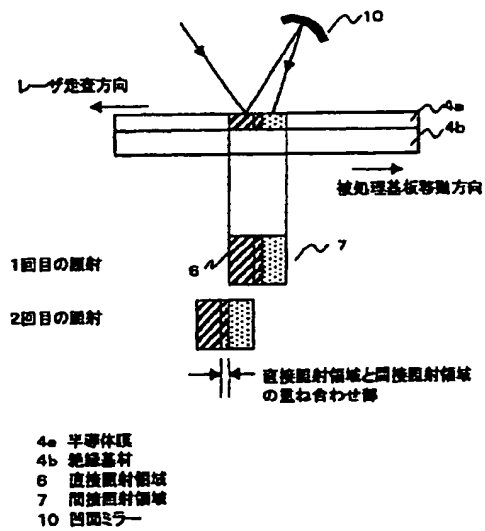




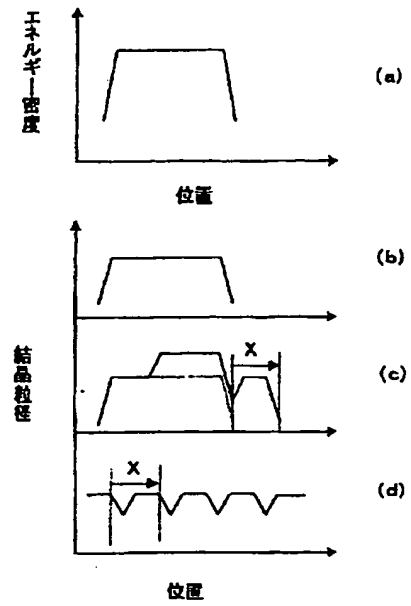
【図 7】



【図 10】



【図 9】



(19) Japanese Patent Office (JP)

(12) Publication of Patent Application (A)

(11) Publication Number of Patent Application: 2000-133593 (P2000-133593A)

(43) Laid Open Date: May 12, 2000

5	(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	Identification Mark	FI	Theme Code (reference)
		H01L 21/20	H01L 21/20	5F052
		21/268	21/268	F
				J

Request of Examination: required

10 The Number of Claims: 13 OL (9 pages in total)

(21) Application No.: H10-307198

(22) Application Date: October 28, 1998

(71) Applicant: 000004237

15 NEC Corporation  
7-1, Shiba 5-chome, Minato-ku, Tokyo

(72) Inventor: Masayuki Jumonji  
c/o NEC Corporation  
7-1, Shiba 5-chome, Minato-ku, Tokyo

20 (74) Agent: Patent Attorney: 100100893  
Masaru Watanabe (and three others)

[F term (reference)]

5F052 AA02 BA02 BA07 BA18 BB07

CA04 CA10 DA01 DA02 DB02

25 HA01 JA01

(54) [Title of the Invention] LASER IRRADIATION APPARATUS AND LASER IRRADIATION METHOD

(57) Abstract

30 [Problems to be Solved] To increase the energy use efficiency of a laser beam and

moreover to improve a film quality of a polycrystalline structure while downsizing a laser irradiation apparatus, when forming a polycrystalline semiconductor film by laser annealing.

[Means for Solution] An amorphous silicon film 4a is directly irradiated with a laser beam from a oblique direction and is indirectly irradiated with a reflected beam condensed by a concave mirror 10. A direct irradiated region 6 is located anterior to or posterior to an indirect irradiated region 7.

[Scope of Claims]

[Claim 1]

10 A laser irradiation apparatus for irradiating a semiconductor thin film with a laser beam, characterized by comprising:

a laser beam generating means for generating a laser beam;

an optical system for adjusting an irradiating angle so that the semiconductor film is directly irradiated with the laser beam from a oblique direction; and

15 a beam-condensing means for condensing the directly irradiated laser beam which is reflected on the semiconductor film and leading to the semiconductor film again to be indirectly irradiated.

[Claim 2]

A laser irradiation apparatus according to claim 1 characterized by further comprising a laser beam scanning means for scanning the laser beam along one direction.

[Claim 3]

A laser irradiation apparatus according to claim 2, characterized in that an irradiated region by direct irradiation is located posterior to an irradiated region by indirect irradiation with respect to a laser beam scanning direction.

[Claim 4]

A laser irradiation apparatus according to claim 2, characterized in that an irradiated region by direct irradiation is located anterior to an irradiated region by indirect irradiation with respect to a laser beam scanning direction.

30 [Claim 5]

A laser irradiation apparatus according to any one of claims 2 to 4, characterized in that a beam-condensing power of the beam-condensing means is adjusted so that an irradiation energy density by an indirect irradiation is 10 to 100 % of an irradiation energy density by a direct irradiation.

5 [Claim 6]

A laser irradiation method for irradiating a semiconductor film with a laser beam, characterized by performing direct irradiation in which the semiconductor film is irradiated with the laser beam from a oblique direction and indirect irradiation in which the semiconductor film is irradiated by condensing the directly irradiated laser beam  
10 which is reflected on the semiconductor film and leading to the semiconductor film again to be indirectly irradiated.

[Claim 7]

A laser irradiation method according to claim 6, characterized in that a semiconductor film is irradiated while scanning the laser beam along one direction.

15 [Claim 8]

A laser irradiation method according to claim 7, characterized in that an irradiated region by direct irradiation is located posterior to an irradiated region by indirect irradiation with respect to a laser beam scanning direction.

[Claim 9]

20 A laser irradiation method according to claim 8, characterized in that one point of the semiconductor film is melted by the indirect irradiation, solidified by cooling, and then irradiated directly.

[Claim 10]

A laser irradiation method according to claim 8 or 9, characterized in that a  
25 beam-condensing power of the beam-condensing means is adjusted so that an irradiation energy density by an indirect irradiation is 10 to 100 % of an irradiation energy density by a direct irradiation.

[Claim 11]

A laser irradiation method according to claim 6, characterized in that an  
30 irradiated region by direct irradiation is located anterior to an irradiated region by

indirect irradiation to a laser beam scanning direction.

[Claim 12]

A laser irradiation method according to claim 11, characterized in that one point of the semiconductor film is preferably melted by the direct irradiation and then is irradiated indirectly while keeping the molten state.

[Claim 13]

A laser irradiation method according to claim 11 or 12, characterized in that a beam-condensing power of the beam-condensing means is adjusted so that an irradiation energy density by an indirect irradiation is 10 to 100 % of an irradiation energy density by a direct irradiation.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technical Field of the Invention] The present invention relates to a laser irradiation apparatus and a laser irradiation method in which a non-single crystal semiconductor thin film is irradiated with a laser beam to form a polycrystalline semiconductor film by laser annealing, and particularly to a laser irradiation apparatus and a laser irradiation method for forming a channel layer of a polycrystalline silicon thin film transistor used for such as a liquid crystal display and a contact image sensor.

[0002]

[Related Art] Recently, a thin film transistor in which a polycrystalline silicon thin film formed over a glass substrate is to be a channel layer has been actively developed with aiming at an application to such as a liquid crystal display device and a contact image sensor. As a method for manufacturing the polycrystalline silicon thin film, a laser annealing method in which a silicon thin film formed as a precursor first is irradiated with an ultraviolet laser beam to be melted and then is crystallized to form a polycrystalline structure has become a mainstream from viewpoints of lowering process temperature, improving throughput, and the like.

[0003]

In this laser annealing method, it is one of important problems to form the polycrystalline structure uniformly, that is, to uniform a grain size of polycrystalline

grains. It is effective to perform two kinds of energy irradiations having different energy values as a technique for this, and various laser annealing methods have heretofore been proposed.

[0004]

5 For example, there is a method in which irradiation with comparatively low energy is performed first, and then as a following step, irradiation with higher energy than this is performed. In addition, there is a so-called two-step annealing method in which, using two pulsed lasers which emit laser beams with the same wavelength, irradiation is performed with a laser of comparatively low energy first, and then  
10 irradiation is performed to the same point with a laser of high energy than this.

[0005]

However, these methods are poor in operation efficiency because of a necessity to perform the irradiation operation two times. Therefore, there is a problem of requiring a long time for laser treatment. In addition, it is necessary to provide two  
15 lasers, or an energy converter which reduces energy of a laser beam to desired energy or the like in order to perform laser irradiations with two kinds of energy. Therefore, there is a problem of requiring a large installation site because of a large-scale irradiation apparatus.

[0006]

20 A laser annealing apparatus to solve such problems is disclosed in Japanese Patent Application Laid-Open No. H6-61172. A structure of the laser annealing apparatus disclosed in the bulletin is shown in FIG. 8. A part of a laser beam emitted from a homogenizer 17 is divided by a beam splitter 18 in the laser annealing apparatus in the figure. A divided laser beam is changed in its optical path by means of a  
25 reflecting mirror 19, and furthermore adjusted the beam divergence and the like by means of an adjustment lens 20. Consequently, a side beam E1 with a desired energy density is formed by means of a filter 21. Therefore, a main beam E2 and the side beam E1 with a different energy density to a moving direction of the beam are emitted parallel to be irradiated to an amorphous silicon 13 over an insulating substrate 12.  
30 According to this apparatus, it is assumed that laser beams with different energies can

be irradiated in one irradiation operation at a simple structure.

[0007]

On the other hand, a technique for irradiating a same point with lasers of two kinds of energies by making a laser beam energy profile in an irradiated region a particular shape. This method is described referring to FIG. 9. FIG. 9(a) shows an energy density profile of a pulsed laser beam used for irradiation. This figure shows an energy distribution of a short side direction (a vertical direction to a laser scanning direction) in a rectangular irradiated region and has a shape of a top flat type. Since it is the energy density profile having tilted portions in both ends, laser irradiation is performed on the same point with two kinds of energies by appropriately adjusting a pitch (a scanning width of the laser beam), when a scanning irradiation is performed with this pulsed laser beam.

[0008]

[Problem to be Solved by the Invention] However, there is a problem of the low energy use efficiency of the laser beam in any of the above related arts. The beam irradiated to a semiconductor film is not used entirely for a phase transition and the like but half or more of it is reflected. For example, the beam of about 53 % in a XeCl excimer laser (a wavelength of 308 nm) and the beam of about 54 % in a KrF excimer laser (a wavelength of 248 nm) are reflected on a surface of a solid amorphous silicon film. Furthermore, when the amorphous silicon film is in a molten state, reflectance is still higher to become about 73 % in the XeCl excimer laser and about 75 % in the KrF excimer laser. This reflected beam has not been used for a laser annealing in the related arts. Therefore, it is necessary to perform irradiation with energy more than originally required for the laser annealing, thereby causing a problem of shortening the life of a laser beam source and increasing operational cost. Furthermore, it is impossible to increase frequency of the laser enough since irradiation with higher energy than required is performed, and thereby there is a certain constraint on improving a processing speed.

[0009]

In addition, as for a technique described in the Japanese Patent Application

Laid-Open No. H6-61172, there is a problem of further decreasing the energy use efficiency of a laser beam because an energy density of a side beam is adjusted by means of transmitting the beam through a filter. Further, there is a problem of increasing cost because the number of optical components is large, and furthermore  
5 there is a problem that the main and side beams are reflected on a surface to damage the optical components such as the filter or mirror.

[0010]

In addition, as for a technique described in The Technical Report of the Institute of Electronics Information and Communication Engineers of Japan, vol.  
10 SDM92-112, 1992, p. 53, there is a problem different from the above-mentioned due to an energy density profile of a pulsed laser beam having tilted portions in both ends. FIGS. 9 (b) to (d) show changes in a crystal grain size when a scanning irradiation is performed with this pulsed laser beam. First, a polycrystalline region of a crystal grain size distribution shown in FIG. 9 (b) is formed when the pulsed laser beam having the  
15 profile shown in FIG. 9 (a) is irradiated to an amorphous silicon thin film. Subsequently, the crystal grain size distribution changes as shown in FIG. 9 (c) when the pulsed laser beam is irradiated while moving the beam in the direction of an arrow only by a pitch  $x$ . Here, a local minimum value of the grain size is seen in a near-field region of the beam edge in FIG. 9 (b). Finally, a polycrystalline silicon thin film  
20 having the crystal grain size distribution shown in FIG. 9 (d) is formed except in an irradiation start point and an irradiation end point. That is to say, nonuniformity of the crystal grain size occurs due to a structural change by the beam edge. This phenomenon is caused because a molten state of the thin film by laser irradiation depends on the thin film structure before the irradiation. In particular, in case of using  
25 an amorphous silicon thin film as a precursor, the molten state remarkably changes in an interface between an irradiated region (a crystalline region) and a nonirradiated region (an amorphous region).

[0011]

In addition to the above described problems, any of the above related arts  
30 cannot provide a sufficient effect on forming a large grain size polycrystalline silicon



film with a uniform grain size distribution and a good array of grains, and therefore further improvement is required in this regard.

[0012]

In view of the foregoing, it is an object of the present invention is to solve the  
5 following problems.

[0013]

A first problem is to increase the energy use efficiency of a laser beam, thereby to improve the life of a laser beam source to decrease operational cost, and moreover to improve anneal processing speed.

10 [0014]

A second problem is to make an optical system a simple structure and downsize an apparatus to save space.

[0015]

A third problem is to improve a film quality of a polycrystalline structure, that  
15 is, to uniform a grain size of polycrystalline grains, make the polycrystalline grains large grains, make arrangement of the polycrystalline grains well-ordered, and the like.

[0016]

[Means for Solving the Problem] According to the present invention, a laser irradiation apparatus for irradiating a semiconductor thin film with a laser beam is provided which  
20 is characterized by comprising a laser beam generating means for generating a laser beam, an optical system for adjusting an irradiating angle so that the semiconductor film is directly irradiated with the laser beam from a oblique direction, and a beam-condensing means for condensing the directly irradiated laser beam which is reflected on the semiconductor film and leading to the semiconductor film again to be  
25 indirectly irradiated.

[0017]

According to the present invention, a laser irradiation method for irradiating a semiconductor thin film with a laser beam is provided which is characterized by performing direct irradiation wherein the semiconductor film is irradiated with the laser  
30 beam from the oblique direction and indirect irradiation wherein the semiconductor film

is irradiated by condensing the directly irradiated laser beam which is reflected on the semiconductor film and leading to the semiconductor film again.

[0018]

In the present invention, the semiconductor film is directly irradiated with the laser beam from the oblique direction and is indirectly irradiated by condensing a reflected beam and leading to the semiconductor film again. Conventionally, the semiconductor film is directly irradiated with the laser beam from a right angle direction. This is because, according to this, an energy density of the laser beam per unit area is maximized. On the other hand, in the present invention, the semiconductor film is irradiated, for example, from an angle of 70 to 87 degrees while deviating the irradiating angle of the direct irradiation from the right angle direction. Hereby, the semiconductor film can be indirectly irradiated by condensing the reflected beam and leading to the semiconductor film again. Therefore, it is possible to efficiently use the reflected beam which is conventionally not considered, and thereby to increase the energy use efficiency of the laser beam.

[0019]

In the present invention, a ratio of a quantity of light of the condensed beam to a total quantity of light of the beam reflected on the semiconductor film is defined as a beam-condensing power. According to the present invention, since energy of the indirect irradiation can be easily controlled by adjusting the beam-condensing power of the beam-condensing means, the semiconductor film can be irradiated with two kinds of laser beams having desired energy densities at the same time. Usually, there are problems of such as the large-scale apparatus and long processing time in order to perform irradiation with two kinds of laser beams having different energy densities. According to the present invention, these problems are solved.

[0020]

As for the beam-condensing means in the present invention, a simple structure such as a concave mirror can be used and the beam-condensing power can be easily adjusted by adjustment of the setting position or the like. As for the technique described in the Japanese Patent Application Laid Open No. H6-61172 for example,

there is the problem of decreasing the energy use efficiency of a laser beam because an energy density of a side beam is adjusted by means of transmitting the beam through a filter. In addition, since the energy density is adjusted by the property of the filter, once the filter is provided, the energy density of the side beam is difficult to be freely changed or fine adjusted. On the other hand, since the beam-condensing means with the simple structure such as the concave mirror is used in the present invention, the beam-condensing power can be changed continuously with a simple operation by adjusting its setting position. Therefore, the energy density of the indirect irradiation can be easily adjusted. Further, because the energy density and an irradiated area of the indirect irradiation can be widely adjusted, laser annealing treatment can be performed differently according to a material to be treated.

[0021]

Furthermore, two kinds of laser irradiations having different energy densities are performed on the same portion of the semiconductor film when a positional relationship between the irradiated region by the direct irradiation and the irradiated region by the indirect irradiation is appropriately adjusted. Therefore, improvement in the film quality of the polycrystalline structure such as uniforming the grain size of the polycrystalline grains, making the polycrystalline grains large grains, or making the arrangement of the polycrystalline grains well-ordered can be achieved. Here, in the present invention, the positional relationship between the irradiated regions by the direct irradiation and by the indirect irradiation can be appropriately adjusted by adjusting a mounting angle of the concave mirror and the like. Therefore, multipurpose laser annealing treatments can be conducted with one laser irradiation apparatus.

[0022]

[Embodiment Mode of the Invention] A laser beam in the present invention includes excimer lasers such as a KrF or a XeCl, the other pulsed lasers such as a ruby laser, and CW (Continuous Wave) lasers such as an argon laser. An energy density of the laser beam is set at a degree of being able to form the polycrystalline thin film.

[0023]

A semiconductor thin film in the present invention includes an amorphous

silicon film, a polycrystalline silicon film, and a film of SiGe or the like.

[0024]

In the present invention, the semiconductor film is directly irradiated with the laser beam from an oblique direction and is indirectly irradiated by condensing the directly irradiated laser beam which is reflected on the semiconductor film and leading to the semiconductor film again. Direct irradiation is referred to that a semiconductor film is directly irradiated and indirect irradiation is referred to that the semiconductor film is irradiated by leading again a reflected beam on the semiconductor film by a beam-condensing means or the like to the semiconductor film. As for the direct irradiation, the semiconductor film is irradiated from the oblique direction and an irradiating angle thereof is preferably 60 to 87 degrees, and more preferably 70 to 85 degrees with respect to a plane surface including the semiconductor film. If the angle is made too small, energy intensity per unit area in the irradiated area is decreased and an undesired energy distribution may be generated. If the angle is made too large, it may be difficult to preferably arrange an optical system for the direct irradiation, the beam-condensing means for performing the indirect irradiation, and the like.

[0025]

The indirect irradiation is performed by condensing the beam which is reflected on the semiconductor film by the beam-condensing means or the like and leading the beam to the semiconductor film again. A mirror or the like, in particular, a concave mirror is preferably used as the beam-condensing means. A beam-condensing power of such a beam-condensing means can be controlled by a distance between the mirror and the semiconductor film, a curvature of the concave mirror, or the like. In addition, if the concave mirror has a transmittance, it can be controlled by adjusting its transmittance.

[0026]

In the present invention, the laser beam may be scanned along one direction. A laser beam scanning means may be a means of moving the laser beam side or a means of moving a substrate to be treated. Thereby, it is possible to perform irradiation two times which are direct irradiation and indirect irradiation having different energy

densities on the same portion of the semiconductor film. Therefore, improvement in a film quality such as uniforming a grain size of polycrystalline grains, making the polycrystalline grains large grains, and making the arrangement of the polycrystalline grains well-ordered can be achieved.

5 [0027]

In the present invention, the following effect can be obtained by appropriately adjusting a positional relationship between an irradiated region by the direct irradiation and an irradiated region by the indirect irradiation.

[0028]

10 When the irradiated region by the direct irradiation is located posterior to the irradiated region by the indirect irradiation with respect to a laser beam scanning direction, the indirect irradiation and direct irradiation are performed in this order to the same point of the semiconductor film. That is to say, the semiconductor film is preheated by the indirect irradiation with low energy and changed from a solid state to a  
15 liquid state, first. Then, a minute but uniform polycrystalline silicon is obtained by being cooled subsequently. If the direct irradiation with higher energy is performed at this stage, a polycrystalline structure having less defects and a uniform grain size can be obtained. In other words, in order to obtain such an effect, one point of the semiconductor film is preferably melted by the indirect irradiation, solidified by cooling,  
20 and then irradiated directly. This can be realized by adjusting the positional relationship between the irradiated regions by the direct irradiation and indirect irradiation.

[0029]

When the irradiated region by the direct irradiation is located anterior to the  
25 irradiated region by indirect irradiation with respect to the laser beam scanning direction, the direct irradiation and indirect irradiation are performed in this order to the same point of the semiconductor film. That is to say, the semiconductor film is heated by the direct irradiation with high energy and changes into a molten state. Then, the indirect irradiation with low energy is performed. Therefore, the film is slowly cooled  
30 from the molten state and thereby it is possible to increase the grain size of the

polycrystalline grains. In other words, in order to achieve the purpose of increasing the grain size of the polycrystalline grains, one point of the semiconductor film is preferably melted by the direct irradiation and then is irradiated indirectly while keeping the molten state.

5 [0030]

In the present invention, it is preferable to adjust the beam-condensing power of the beam-condensing means so that the irradiation energy density by the indirect irradiation is 10 to 100 % of the irradiation energy density by the direct irradiation. Therefore, as well as increasing the energy use efficiency of the laser beam, various effects such as uniforming and increasing the grain size of the polycrystalline structure as described above can be obtained. Here, it is preferable to set the beam-condensing power as follows in order to uniform or increase the grain size of the polycrystalline structure. That is to say, the irradiation energy density by the indirect irradiation is preferably 25 to 80 % of the irradiation energy density by the direct irradiation, more  
10 preferably 30 to 50 %, and most preferably 35 to 42 %. This makes the energy suitable for preheating, and thereby it is furthermore possible to uniform the grain size of the polycrystalline structure. In addition, this makes the energy suitable for cooling the film after the direct irradiation slowly, and thereby it is furthermore possible to increase the grain size of the polycrystalline structure.

20 [0031]

[Embodiment]

(Embodiment 1) A schematic diagram of a laser irradiation apparatus used in this embodiment is shown in FIG. 1.

[0032]

25 A substrate to be treated 4 has a structure in which an amorphous silicon film 4a is formed over an insulating substrate 4b. In this embodiment, an OA-2 substrate (a glass substrate) manufactured by Nippon Electric Glass Co., Ltd. is used as the insulating substrate 4b. A silicon dioxide thin film is deposited over the insulating substrate 4b to have a film thickness of 100 nm by a plasma CVD method, and then, the  
30 amorphous silicon film 4a is deposited thereover by a low pressure CVD method using

$\text{Si}_2\text{H}_6$ . The deposition condition of the amorphous silicon film 4a is set at a flow rate of  $\text{Si}_2\text{H}_6$  of 150 sccm; a pressure of 8 Pa; a substrate temperature of 450 °C; and deposition time of 70 minutes.

[0033]

- 5           The substrate to be treated 4 is arranged over a holder 8, and this holder 8 can move in a direction x-y by a substrate transfer mechanism 9.

[0034]

- In this embodiment, a KrF excimer laser is used as an excimer laser 1. This laser beam is pulsed light with a wavelength of 248 nm; a pulse width of 30 ns; and an energy density of 400 mJ/cm<sup>2</sup>. The temperature of the substrate is set at 300°C.
- 10

[0035]

- After passing through a homogenizer 2, an optical path of the laser beam generated from the excimer laser 1 is changed by a mirror 3, thereby irradiating the amorphous silicon film 4a. The optical path of this irradiated light is adjusted by the mirror 3 to be at an angle of 80 degrees with respect to a plane surface including the amorphous silicon film 4a. An irradiated region by this irradiation is to be a direct irradiated region 6. This irradiated light is absorbed partially at the surface of a semiconductor film to be converted into heat, and the rest thereof is reflected. In this embodiment, the light of the KrF excimer laser with a wave length of 248 nm is used.
- 15
- 20 In this case, reflectance is about 75 % at the surface of the amorphous silicon film 4a which is in the molten state.

[0036]

- The reflected beam is condensed by a concave mirror 10 in this embodiment. The beam which is reflected by the concave mirror 10 reaches the surface of the semiconductor film again. An irradiated region by this beam is referred to as an indirect irradiated region 7. The beam-condensing power of the reflected beam by the concave mirror 10 can be controlled by adjusting a distance from the substrate to be treated 4 to the concave mirror 10. In this embodiment, the distance from the substrate to be treated 4 to the concave mirror 10 is set at 20 cm, and the beam-condensing power is about 50 %. Thus, the energy capacity factor of the laser beam is about 71 %.
- 25
- 30

Note that the energy capacity factor thereof is 46 % in a conventional method without using the reflected beam.

[0037]

5 In this embodiment, the energy density  $E_1$  of the direct irradiated region 6 is around  $400 \text{ mJ/cm}^2$ . On the other hand, the energy density  $E_2$  of the indirect irradiated region 7 is around  $200 \text{ mJ/cm}^2$ , which is about 50 % of the energy density  $E_1$  of the direct irradiated region 6.

[0038]

10 Hereinafter, an example of a laser irradiation method using this apparatus is described with reference to FIGS. 2 and 3. FIG. 2 is a schematic diagram showing a method of this embodiment. FIG. 3 is a diagram describing a positional relationship between the direct irradiation and indirect irradiation, and a state of scanning irradiation. In the diagrams, respective irradiated regions by the first and the second irradiation are shown. The irradiated region has practically a line pattern which extends  
15 perpendicular to a laser scanning direction; however, it is shown to have a rectangular shape for convenience.

[0039]

In this embodiment, a laser irradiated region is scanned by moving the substrate in one direction. As shown in FIG. 3, the indirect irradiated region 7 is  
20 located anterior to the direct irradiated region 6 with respect to the moving direction of the substrate, and the indirect irradiation and the direct irradiation are performed in this order to the same point of the amorphous silicon film 4a. The two irradiated regions are almost equal in an irradiated area. In other words, the widths of the two irradiated regions (width in the laser scanning direction) are almost equal. Furthermore, since  
25 the scanning pitch is set to be equal to the width of these regions, the indirect irradiated region 7 in the first irradiation is adapted to overlap with the direct irradiated region 6 in the second irradiation. Accordingly, both the indirect irradiation and direct irradiation are performed to the entire region over the semiconductor film practically. Besides, efficiency of an irradiation process can be achieved. When the widths of the two  
30 irradiated regions are not equal, it is preferable to adjust the scanning pitch to the shorter



width. Hereby, both the indirect irradiation and direct irradiation are performed to the entire region over the semiconductor film practically.

[0040]

The surface of the amorphous silicon film 4a is preheated by the indirect  
5 irradiation with comparatively low energy first, and thereby changed from a solid state to a liquid state. Then, it becomes polycrystalline silicon by being cooled subsequently. At this time, polycrystalline grains are not formed over the entire surface of the irradiated region, but formed only over a part of the region. Furthermore, a great number of defects are generated in grain boundaries of the polycrystalline silicon and  
10 the like. Subsequently, the region irradiated indirectly is cooled, and then irradiated directly when the region becomes in a solid state. Accordingly, the polycrystalline grains are grown almost over the entire surface of the irradiated regions, and the above mentioned defects disappear. Since the two kinds of irradiation are sequentially performed, a polycrystalline structure having a uniform grain size can be obtained.

15 [0041]

In this embodiment, a substrate transfer speed is regulated so that a time interval between the indirect irradiation and the direct irradiation at the same point is 4 ms. In the case of the laser beam used in this embodiment, the region which has been irradiated indirectly is again irradiated directly by regulating as described above.

20 [0042]

According to the examination of a polycrystalline semiconductor film manufactured by the method of this embodiment under a scanning electron microscope, it is confirmed that the polycrystalline semiconductor film which is uniform with a grain size of about 0.2  $\mu\text{m}$  without defect is formed. Furthermore, surface flatness is  
25 improved compared to the case where a conventional reflected beam is not used.

[0043]

(Embodiment 2) A positional relationship between an irradiated region by the direct irradiation and an irradiated region by the indirect irradiation is to be one shown in FIG. 4, and laser irradiation is performed similarly to Embodiment 1 except changing a  
30 scanning pitch. The scanning pitch in this embodiment is set at 0.1 mm.

[0044]

In FIG. 4, the width of an indirect irradiated region 7, the width of a direct irradiated region 6 (mean to as respective widths in the laser scanning direction), and an interval therebetween are all set at 0.1 mm to make almost equal. Consequently, the indirect irradiated region 7 in the first irradiation corresponds to a region which is not irradiated, between the indirect irradiated region 7 and direct irradiated region 6 in the second irradiation, and moreover, corresponds to the direct irradiated region 6 in the third irradiation. That is, indirect irradiation, non-irradiation, and direct irradiation are performed in this order to the same point. Since the stage of the non-irradiation is provided between the indirect irradiation and the direct irradiation, melting silicon is cooled at this stage and time for polycrystallization can be secured. Accordingly, a process of performing the direct irradiation, to one point of the semiconductor film, after melting by the indirect irradiation and cooling to be solidified, can be surely performed.

15 [0045]

According to the examination of a polycrystalline semiconductor film manufactured by the method of this embodiment under a scanning electron microscope, it is confirmed that the polycrystalline semiconductor film which is uniform with a grain size of about 0.2  $\mu\text{m}$  without defect is formed.

20 [0046]

(Embodiment 3) A schematic diagram of a laser irradiation apparatus used in this embodiment is shown in FIG. 5. This apparatus has the same structure as in Embodiment 1, and is different only in the positional relationship between a direct irradiated region 6 and an indirect irradiated region 7. A method for manufacturing a substrate to be treated 4 is the same as Embodiment 1.

25 [0047]

Hereinafter, an example of a laser irradiation method using this apparatus is described with reference to FIGS. 6 and 7. FIG. 6 is a schematic diagram showing a method of this embodiment. FIG. 7 is a diagram describing a positional relationship between the direct irradiation and indirect irradiation, and a state of scanning irradiation.

In the diagrams, respective irradiated regions by the first and the second irradiation are shown. The irradiated region has practically a line pattern which extends perpendicular to a laser scanning direction; however, it is shown to have a rectangular shape for convenience.

5 [0048]

In this embodiment, a laser irradiated region is scanned by moving the substrate in one direction. As shown in FIG. 7, the indirect irradiated region 7 is located posterior to the direct irradiated region 6 with respect to the moving direction of the substrate; the direct irradiation and the indirect irradiation are performed in this order to the same point of an amorphous silicon film 4a. The two irradiated regions are almost equal in an irradiated area. In other words, the respective widths of the two irradiated regions (width in the laser scanning direction) are almost equal. Furthermore, since scanning pitch is set to be equal to the width of these regions, the indirect irradiated region 7 in the first irradiation is adapted to overlap with the direct irradiated region 6 in the second irradiation. Accordingly, both the direct irradiation and indirect irradiation are performed to the entire region over the semiconductor film practically. Besides, efficiency of an irradiation process can be achieved. When the respective widths of the two irradiated regions are not equal, it is preferable to adjust the scanning pitch to the shorter width. Hereby, both the direct irradiation and indirect irradiation are performed to the entire region over the semiconductor film practically.

20 [0049]

The surface of the amorphous silicon film 4a is heated by the direct irradiation with comparatively high energy, thereby changing from a solid state to a liquid state. Subsequently, when the surface of the amorphous silicon film 4a is in the liquid state (molten state), the indirect irradiation is performed. Accordingly, the amorphous silicon in the liquid state is cooled slowly, and the size of a crystal grain can be increased.

[0050]

According to the examination of a polycrystalline semiconductor film manufactured by the method of this embodiment under a scanning electron microscope,

30

it is confirmed that polycrystalline grains with a grain size of about  $1.5\ \mu\text{m}$  are regularly arranged with a preferable orderliness. According to the method in this embodiment, in addition, the energy capacity factor of the laser beam is about 71 %. On the other hand, in the conventional method in which beam-condensing by a concave mirror is not performed, the energy capacity factor thereof is 46 %, thereby showing superiority in the method of this embodiment. When a substrate temperature is further increased to  $400^{\circ}\text{C}$ , the grain size becomes about  $2.5\ \mu\text{m}$ .

[0051]

In this embodiment, the direct irradiated region 6 and indirect irradiated region 7 are adjacent with each other as shown in FIG. 7, which are not overlapped with each other. Here, as shown in FIG. 10, if the direct irradiated region 6 is partly overlapped with the indirect irradiated region 7, the grain size of a polycrystalline grain can be further increased.

[0052]

[Effect of the Invention] According to the present invention as described, the energy use efficiency of a laser beam can be increased since a semiconductor film is irradiated from an oblique direction and besides, irradiated by condensing a reflected beam and leading to the semiconductor film again. Hereby, the life of a laser beam source is improved to lower operational cost, and moreover, anneal processing speed can be improved.

[0053]

Since laser irradiation with a different energy density is performed by the laser irradiation apparatus of the present invention, a plurality of lasers, an energy converter or the like is not required to be provided, and downsizing of the apparatus and space saving can be achieved.

[0054]

Furthermore, in the present invention, by properly adjusting a positional relationship between an irradiated region by the direct irradiation and an irradiated region by the indirect irradiation, improvement in a film quality of a polycrystalline structure, that is, uniforming a grain size of polycrystalline grains, making the

polycrystalline grains large grains, making the arrangement of polycrystalline grains well-ordered, and the like can be achieved.

[Brief Description of the Drawings]

[FIG. 1] A schematic diagram showing a laser irradiation apparatus of the present invention.

[FIG. 2] A diagram for describing a laser irradiation method of the present invention.

[FIG. 3] A diagram for describing a laser irradiation method of the present invention.

[FIG. 4] A diagram for describing a laser irradiation method of the present invention.

[FIG. 5] A schematic diagram showing a laser irradiation apparatus of the present invention.

[FIG. 6] A diagram for describing a laser irradiation method of the present invention.

[FIG. 7] A diagram for describing a laser irradiation method of the present invention.

[FIG. 8] A diagram showing an example of a conventional laser irradiation apparatus.

[FIG. 9] A diagram showing an example of a conventional method for laser irradiation.

[FIG. 10] A diagram for describing a laser irradiation method of the present invention.

[Explanations of the Reference Numerals]

- |       |                              |
|-------|------------------------------|
| 1     | excimer laser                |
| 2     | homogenizer                  |
| 3     | mirror                       |
| 20 4  | substrate to be treated      |
| 4a    | amorphous silicon film       |
| 4b    | insulating substrate         |
| 6     | direct irradiated region     |
| 7     | indirect irradiated region   |
| 25 8  | holder                       |
| 9     | substrate transfer mechanism |
| 10    | concave mirror               |
| 12    | insulating substrate         |
| 13    | Amorphous silicon            |
| 30 17 | homogenizer                  |

2000-133593

- 18 beam splitter
- 19 reflecting mirror
- 20 adjustment lens
- 21 filter
- 5 E1 sub beam
- E2 main beam

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ ~~SKEWED/SLANTED IMAGES~~
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**